

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「エンブラを用いた高比剛性部材(熱可塑性ハニカム)の製造技術開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成23年 9月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	
1-1-1 背景及び研究目的	
1-1-2 実施内容	
1-1-3 目標	
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	
1-3 成果概要	
1-4 当該研究開発の連絡窓口	
第2章 本論—1 「素材開発課題への対応」	9
2-1 PCシート素材選定に関する諸課題	
2-2 PCシートの物性評価試験	
2-2-1 引張特性	
2-2-2 衝撃特性	
2-2-3 高温特性&高温時のシート特性	
2-2-4 融点・ガラス転移温度・結晶化温度特性	
2-2-5 耐候特性	
2-3 異素材シート&接着剤の選定	
2-3-1 異素材シートについて	
2-3-2 表面処理について	
2-3-3 接着性評価について	
第3章 本論—2 「PC製 TECCELL 製造技術（ラミシート貼付用）の開発」	15
3-1 PC製 TECCELL 製造装置（ラミシート貼付用）の基本的課題	
3-2 PC製 TECCELL 製造装置（ラミシート貼付用）の開発	
3-3 ラミシート貼付テスト結果及び考察	
3-3-1 加熱温度	

3-3-1-1	ハニカムコア材の予備加熱温度	
3-3-1-2	ラミシートの予備加熱温度	
3-3-1-3	ハニカムコア材&ラミシートの本加熱温度	
3-3-2	圧着ロール	
3-3-2-1	圧着ロールのクリアランス	
3-3-2-2	圧着ロール温度	
3-3-3	シートの張力調整機構	
3-4	PC 製 TECCELL+AL 品の試作評価	
第4章	本論—3 「PC 製 TECCELL 成形体の物性評価」	22
4-1	PC 製 TECCELL 及び PC 製 TECCELL+AL 成形体の物性評価方法	
4-1-1	密度測定・製品寸法測定・曲げ試験方法	
4-1-2	圧縮試験測定方法	
4-1-3	衝撃試験測定方法	
4-1-4	剥離試験測定方法	
4-1-5	熱変形温度測定・加熱時の寸法変化測定方法	
4-2	PC 製 TECCELL 及び PC 製 TECCELL+AL 成形体の物性評価結果	
4-2-1	密度測定・製品寸法測定・曲げ試験結果	
4-2-2	圧縮試験結果	
4-2-3	衝撃試験結果	
4-2-4	剥離試験結果	
4-2-5	熱変形温度測定・加熱時の寸法変化結果	
4-2-6	燃焼試験結果	
第5章	本論—4 「PC 製 TECCELL の形状加工技術の開発」	29
5-1	PC 製 TECCELL の形状加工技術の基本的課題	
5-2	PC 製 TECCELL の形状加工テスト方法	
5-3	PC 製 TECCELL の形状加工テスト結果	
第6章	全体総括	32

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 背景及び研究目的

自動車産業をはじめ広い分野で、「軽量化指向のものづくり技術」が求められ、金属から樹脂への移行、中空一体構造の採用、更にハニカム構造体の開発などが進行している。

本研究開発では、更に、軽くて強い製品（高比剛性部材）の高能率加工技術の開発を目指す。具体的には、素材を高強度樹脂にグレードアップし、ハニカム構造を採用した製品の連続成形技術を確立し、事業化を目指す。

① 自動車車体用材料の現状と動向について

自動車の軽量化は、運動性能の向上だけでなく燃費向上による環境問題への対応という社会的な側面から、近年益々その要求が高まっている。更には快適性や利便性の向上、ABSなどの安全装備、衝突規制や安全規制への対応から車両重量が増加傾向になることも、軽量化に向けた技術開発の重要性を高める一因になっている。

車体の軽量化手段としては、車体構造、部品構造の見直しによる部品点数の削減や、部品そのものの重量削減が主要な方策である。これは、軽量化材料への置換でコスト面の課題は残るものの軽量化効果の大きさから今後とも期待されている（100 kgの車両重量変動は燃費に対しておよそ5%の影響を及ぼすと言われている）。

そうした中、自動車用鋼材のハイテン化、高機能化とともに、より軽い素材（アルミニウムやサンドイッチパネルなど）の適用も期待されている。

② 軽量化について

近年、鋼材からアルミ素材への切り替えにより自動車車体の軽量化が進んでいるが、EV、PHV、FCV を動力とする、より環境に配慮した自動車開発が加速している。それに伴い更なる軽量化部材が要求されている。その要求に対し樹脂製の中空体が最も軽量化効果があり、素材は実際に透明性・耐熱性・耐衝撃性・自己消火性などを備え、自動車用部材として使用されている、ポリカーボネート（以下 PC と略す）等のエンブラが望ましい。

岐阜プラスチック工業株式会社は、ポリプロピレン（以下 PP と略す）製のハニカムサンドイッチパネル（TECCCELL）の連続生産技術を持つ。この製造技術を活かし、従来に無い軽量・高機能な PC 製ハニカムサンドイッチパネルの連続生産技術を確立し、自動車用部材

の軽量化を行って上市していく予定である。

従来の PP 製ハニカムサンドイッチパネルでは、自動車用部材として使用出来る範囲が狭いが、PC 製ハニカムサンドイッチパネルやアルミ素材などと複合化された次世代の『TECCELL』は使用用途も更に広がると考えられる。製品コストにおいてもアルミに対し軽量化によるメリットで約 15%のコストダウンが実現でき、需要の広がりが更に期待出来ると考えられる。

1-1-2 実施内容

- ① 素材開発課題への対応について
- ② PC 製 TECCELL 製造技術（ラミシート貼付用）の開発
- ③ 成形体の物性評価
- ④ 形状加工技術への対応（試作サンプル評価）
- ⑤ プロジェクトの管理・運営

1-1-3 目標

- ① 素材開発課題への対応について

イ) PC ラミシート素材の選定

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業にて技術確立した、PC 製のハニカムコアに対して上下面に PC ラミシートを貼り合わせる工程を経て、ハニカムサンドイッチパネルが出来る。使用する PC ラミシートはニーズに応じた機能を有する必要があるため、様々なラミシート素材を適用することになるため PC ラミシートの物性測定を行い、PC 製 TECCELL 成形に適した PC ラミシートを選定する。測定内容は以下の通り。

- ・引張特性、衝撃特性、高温特性
- ・融点・ガラス転移温度・結晶化温度特性、高温時のシート特性

ロ) 異素材シート&接着剤の選定

異素材の選定にあたり、平成 22 年度補完研究によりモデル解析結果や想定物性値などから、軽量・高剛性化に最も効果があると思われるアルミシートを、異素材の代表例として選定した。

次に PP や PC などのプラスチック樹脂は難接着素材だが、製品表面にコロナ放電処理を施すことで接着出来る可能性があることを、平成 22 年度補完研究にて確認している。なお、表面処理効果の確認は表面の濡れ性から確認出来ることから濡れ試薬にて 40dyn 以上かどうかを確認する（PP での知見から 40dyn 以上であれば表面処理出来ていると判断出来る）。

また接着剤の選定にあたり、各接着剤メーカーと協議の上最適と思われる物をピックアップしている（2 液シリコンタイプ）が、最終的な判断は 180° 剥離試験した際に 50N/25mm 以上の剥離強度であるかを確認して判断する（PP 品での実績から想定）。

なお、濡れ性及び剥離強度の目標値は表 1-1 の通り。

表 1-1 PC 製 TECCELL+アルミ品の各特性目標値

	PC 製ハニカムサンドイッチパネル + アルミ コア 0.3mm ラミ 0.5mm アルミ 0.1mm
濡れ性(dyn)	40 以上 (PC 製 TECCELL 表面)
剥離強度(N/25mm)	50 以上

②PC 製 TECCELL 製造技術（ラミシート貼付用）の開発

PC 製 TECCELL 製造装置（ラミシート貼付用）は、現在岐阜プラスチック工業株式会社に既設の PP 製 TECCELL 製造装置を参考にして、加熱温度範囲の拡大や加熱部のハニカムコア・ラミシートの加熱構造の変更など PC 仕様にした物を新たに考案して設計した（平成 22 年度補完研究実施内容）。設計した装置を製作し、この装置を使用することで加熱・冷却方法を検討し、最適な成形品を得る為の成形条件を把握する。

③成形体の物性評価

イ) 基礎物性測定

②で作製した PC 製 TECCELL が、実製品として使用可能か否かを判断する為、基礎物性評価（密度・製品厚み・曲げ剛性・比剛性の 4 項目）を行う。これらの測定は岐阜プラスチック工業株式会社に既設の計測設備を用いて同社が測定する。目標値は表 1-2 の通り。

表 1-2 PC 製 TECCELL と貼り合わせ品の目標物性値

	現行素材		PC 製ハニカムサンドイッチパネル コア 0.3 mm ラミ 0.5 mm	PC 製ハニカムサンドイッチパネル+アルミ コア 0.3 mm ラミ 0.5 mm
	鉄	アルミ		
密度(g/cm ³)	7.85	2.70	0.23(見かけ密度)	0.27(見かけ密度)
製品厚み(mm)	2.1	3.0	12.8	13.0
剛性(N m ² /75 mm)	12.1		12.1	70.4
比剛性	1.54	4.48	52.6	260.7

ロ) 熱特性測定

基礎物性以外に自動車用部材などの用途では熱特性も合わせて測定する必要がある。これは岐阜県産業技術センターに既設の計測設備を用いて、同センターが熱変形温度と寸法変化測定を行い、成形体の熱特性を評価する。

④形状加工技術への対応（試作サンプル評価）

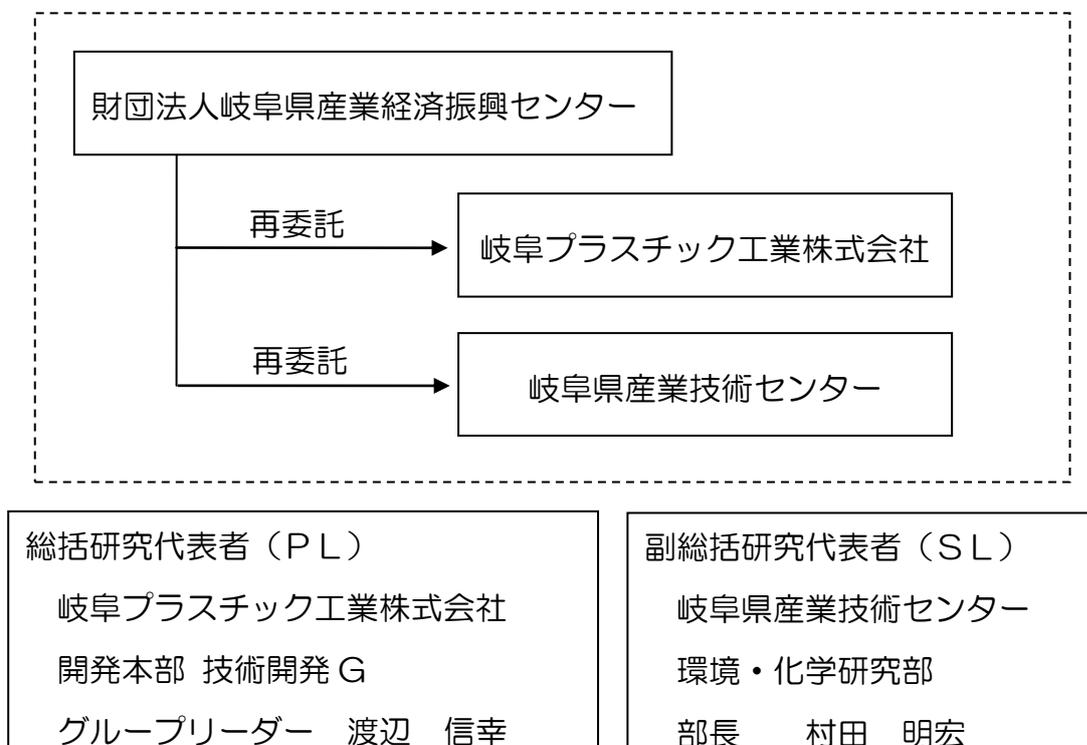
②で得られたハニカムサンドイッチパネルについて。まずはどの程度の形状加工が出来るか試作品を成形する。その結果を基に、形状加工の加工限界などを導き出す。評価はハニカム構造の潰れ・ボードのシワの出方・製品物性・表面の意匠性などから総合的に判断する。

⑤プロジェクトの運営・管理

効率的な研究開発を実施する為に、研究開発委員会をはじめ、事業化に向けた知見を有する者への情報収集を行う。

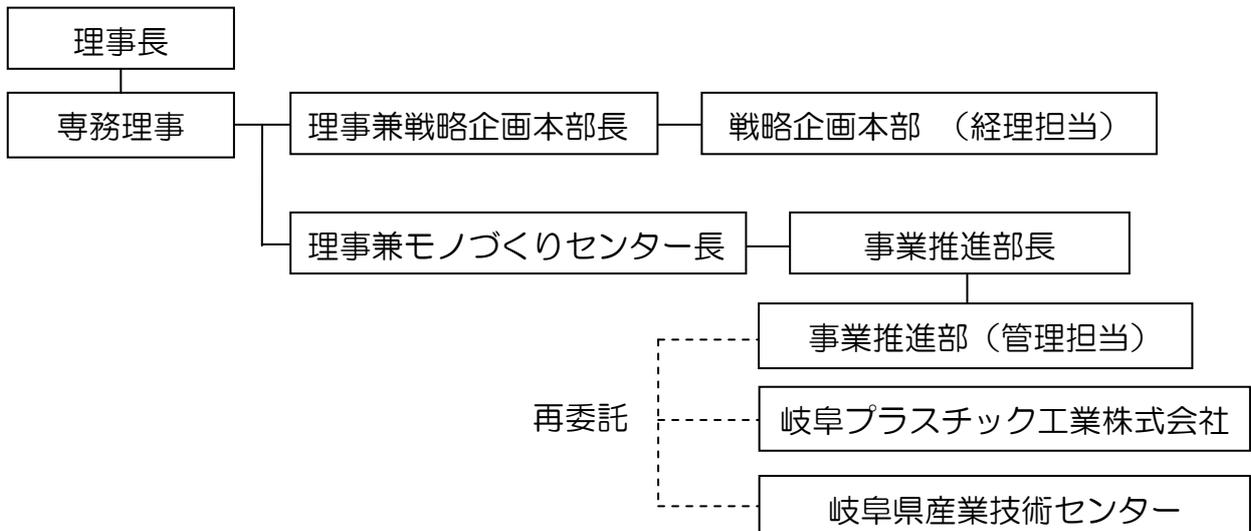
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

(1) 研究組織（全体）



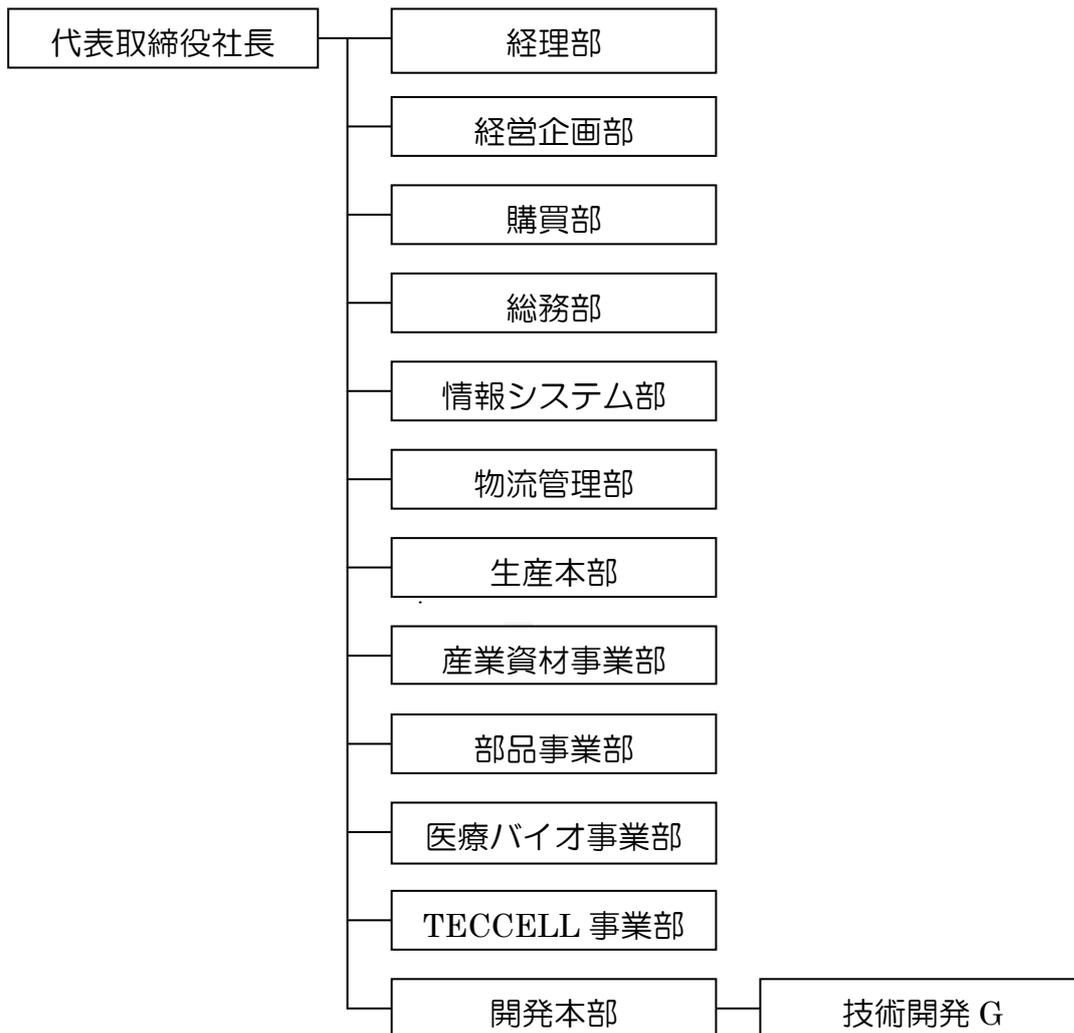
(2) 管理体制

① 事業管理者

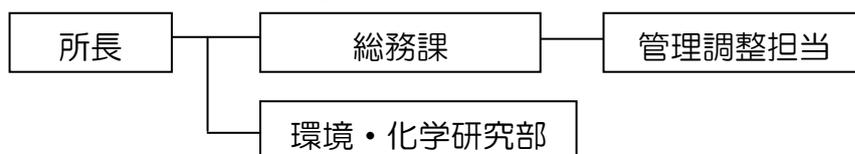


② 再委託先

[岐阜プラスチック工業株式会社]



[岐阜県産業技術センター]



(3) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人岐阜県産業経済振興センター

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
石樽 芳直	ものづくりセンター長	⑤
宮田 高	事業推進部 部長	⑤
山田 博義	事業推進部 統括主査	⑤
小川 誠	事業推進部 主査	⑤
永田 幸衛	事業推進部 管理員	⑤
瀬瀬まゆみ	戦略企画本部 主任	⑤

② 研究員

【再委託先】

岐阜プラスチック工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
渡辺 信幸	技術開発 G GL (PL・主任研究員)	①
酒井 秀樹	TECCELL 事業部 技術部 部長	①
柴垣 晋吾	技術開発 G 技術開発第 1T 主任 (副主任研究員)	①②③
青木 規洋	技術開発 G 技術開発第 1T 担当	①②④

岐阜県産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
村田 明宏	環境・化学研究部 部長 (SL)	①③
野村 貴徳	環境・化学研究部 専門研究員	①③
丹羽 厚至	環境・化学研究部 研究員	①③
長屋 喜八	環境・化学研究部 産業技術指導員	①③

③ 協力者（アドバイザー）

住江織物株式会社 技術・開発本部 テクニカルセンター 開発部

機能開発グループ 柴山 誉宏

株式会社ビー・アイ・テック 代表取締役社長 板東 舜一

1-3 成果概要

本研究での研究開発成果は以下の通りである。

①素材開発課題への対応について

イ) PC ラミシート素材の選定

2 層ラミシートの溶着層にポリメチルメタクリレートを使用し、尚且つゴム成分を添加することが望ましいことを引張試験・衝撃試験から確認した。

高温特性・高温時のシート特性・ガラス転移温度測定を測定した結果、ポリメチルメタクリレート成分の違いやゴム成分の添加量により、温度への影響はほとんど無いことを確認した。

耐候剤の添加/未添加品を評価し、添加によって製品の黄色化を緩和出来ることを確認した。また物性は、引張伸度の低下はあるものの引張弾性率は低下しない。よって PC 製 TECCELL として製品の機能性に大きな影響を及ぼさないことを確認した。

ロ) 異素材シート & 接着剤の選定

平成 22 年度補完研究より、モデル解析結果などから異素材シートの代表例としてアルミを選定したが、貼り合わせにはコロナ放電処理を行う必要があることが分かった。

合わせて接着剤について、平成 22 年度の補完研究より 2 液シリコンタイプが最適であると判断した。

②PC 製 TECCELL 製造技術（ラミシート貼付用）の開発

平成 22 年度補完研究にて構想した PC 製 TECCELL 製造装置（ラミシート貼付用）を用い、PC 製 TECCELL の製造技術を確立した。

なお成形条件として、ハニカムコア材・ラミシート共に予備加熱機構と本加熱機構を設け、予備加熱で全体を加熱し、本加熱で集中的に溶着部を加熱する方法が必要であった。また加熱温度は成形可能温度範囲が狭いことを確認した。

成形時には良品を得る為に、温調機能（80～150℃）を有する圧着ロールと、ラミシート全面に均一加熱出来る張力調整機構（ピンチロール）を使用する必要がある。

表面処理技術、接着剤の選定、接着剤塗布技術などを踏まえ、PC 製 TECCELL+AL 品を作製することに成功した。また、表面処理効果を確認する為に濡れ性を測定し、当初の目標

値 40dyn を上回る 48dyn 以上であることを確認した。

③成形体の物性評価

PC 製 TECCELL で目標値とした、密度・製品厚み・曲げ剛性・比剛性について測定し、密度と製品厚みはほぼ想定通りであることを確認した。曲げ剛性と比剛性は若干想定より低かったが、元々シートの曲げ弾性率を高く見積もっており、実測した値に想定すると今回の測定結果と一致した。よってシート物性から成形体の物性値を想定出来ることを確認した。

PC 製 TECCELL+AL 品の剥離強度は、基本的に 50N/25mm を上回る値となり、目標値を達成した。

加えて熱変形温度・曲げ強度・平面圧縮強度・衝撃強度・燃焼特性を評価し、圧縮強度はハニカム構造に起因する為に PP 製の物と同等レベル、衝撃強度はラミシート溶着層の種類により測定機器の限界以上を示したが、アルミ貼り合わせ品は基材より先にアルミに亀裂が入ってしまうことを確認した。

熱特性は荷重たわみ温度測定と TMA 温度測定を行い、PP 製の物と比較して約 70℃高い熱特性を有することが確認出来た。

燃焼性は自動車内装用品基準である FMVSS-302 法で不燃認定となり、自動車用内装材として使用しても問題無いと判断出来た。

④形状加工技術への対応（サンプル評価）

両面真空引きの真空成形機で形状加工評価を行い、PC 製 TECCELL は PP 製 TECCELL と比較して成形性は悪いが、製品形状により加工可能であることを確認した。

形状加工限界は、基礎検討型から平面形状は加工可能。ただし、加工難であるコーナーR や側面 R は R30 でも加工が出来なかったが、天面 R・フランジ R は方向性があり、MD は天面 R・フランジ R は R20 以上であれば加工可能だが、TD は天面 R であれば R20 以上で加工可能で、フランジ R は R30 でも加工不可となった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人 岐阜県産業経済振興センター

（最寄り駅：東海旅客鉄道株式会社 東海道本線 西岐阜駅）

〒500-8505 岐阜県岐阜市藪田南 5-14-53

第2章 本論—1 「素材開発課題への対応」

2-1 PC シート素材選定に関する諸課題

PC ラミシートは知見から2層化する必要がある。その為試作するPC ラミシートは、PC 層とコア材と溶着させる溶着層を兼ね備えた物とする。

なお溶着層素材としてポリメチルメタクリレート（以下 PMMA と略す）を使用することで、効率良く溶着出来ることが平成22年度の補完研究から把握出来た。しかし単純な組み合わせでは、PMMA 成分の影響で衝撃強度が低下する。ただし補完研究にて PMMA にゴム成分を添加することで改善出来ることを確認しているが、本研究内容に対してどのタイプの PMMA を使用することが最適かを検討する必要がある。

更に、一般的に自動車業界や建材業界などでは耐熱性や耐候性が求められるが、近年の地球環境汚染を背景に、最近では更なる高耐候性を持つ製品が採用されている。しかし一方で、その他分野である物流用の輸送容器などでは複合化した物を最終製品とする場合もあり、これらの製品は極端に高い機能性が求められないなど、業界により求められる機能性は異なる。

このような中、素材選定に当たり最終製品としての物性への影響や、PC ラミシート貼付工程における成形シートの破断性・溶着不良への影響を評価する必要がある。

まず最終製品とした場合の物性を知る為には、PC ラミシートの

- ・引張特性
- ・衝撃特性
- ・高温特性

次に、PC ラミシート貼付工程における成形シートの破断性・溶着不良への影響を知る為にはPC ラミシートの

- ・融点・ガラス転移温度・結晶化温度特性
- ・高温時のシート特性

を、それぞれ定量的に把握する必要がある。

以上のことから、PC ラミシートについてそれぞれの項目を把握・評価し、これらの中から最適素材を選定することとする。

2-2 PC シートの物性評価試験

引張特性、衝撃特性及び融点・ガラス転移温度・結晶化温度特性は、岐阜プラスチック工業株式会社が同社既設の計測設備をもって測定し、各パラメーターを得ることとする。なお補完研究にて PMMA の種類を絞り込んだ中で、住友化学株式会社製の HTO1X（ゴム分大）と HT50Y（ゴム分少）、株式会社クラレ製の GR1000H24（ゴム分少）と GR00100（ゴム分大）の計4種類を評価した。各試験については以下の通り。

2-2-1 引張特性

引張特性は、岐阜プラスチック工業株式会社内既設の株式会社島津製作所製 AUTOGRAPH AGS-1kNG にて、試験速度 1mm/min、試験片：幅 15mm×長さ 120mm、チャック間距離 100mm、で試験片を引っ張ることで引張弾性率を測定した。

一般的に結晶性樹脂（PP など）はシート成形時に延伸しており、シートの巻出し方向（以下 MD と略す）に分子が配向している。その為 MD の引張弾性率・引張強度が高く、シート幅方向（以下 TD と略す）の引張り弾性率・引張強度は MD に比べて若干低い傾向がある。

ただし PC は非晶性樹脂であり、結晶性樹脂とは異なりシートの異方性はほとんどなく、MD と TD の弾性率・強度はほぼ同じとなる。

ここで、MD とは Machine Direction の略であり、成形機でシートを成形する場合の流れ方向を指す。また、TD とは Transverse Direction の略であり、MD に対して垂直方向を意味している。簡略図を図 2-1 に記した。実際の試験結果については下記表 2-1 の通り。

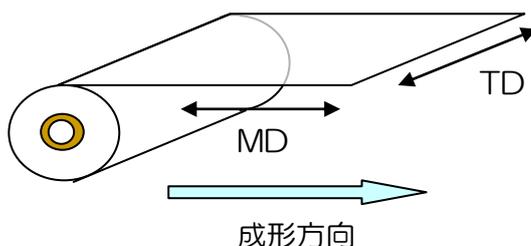


図 2-1 シートの MD と TD について

表 2-1 各シートの引張特性一覧

PC シート種類 (PC 単層(コア用) or PC/PMMA(ラミ用))	シート厚 (mm)	引張強度(MPa)		引張弾性率(MPa)	
		MD	TD	MD	TD
301-10 (PC 単層)	0.3	58.1	62.6	1,846	1,877
200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.4/0.1	56.7	57.4	1,837	1,765
200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.2/0.1	59.1	58.7	1,782	1,819
301-10/HT50Y	0.4/0.1	61.9	62.7	1,893	1,909
301-10/GR1000H24	0.4/0.1	63.1	63.5	1,867	1,852
200-3/GR00100:70% HT50Y:30%	0.4/0.1	58.9	59.9	1,766	1,796

ゴム成分の少ないシート（HT50Y、GR1000H24）は硬い為、ゴム成分の多いシート（HT01X 系、GR00100 系）に比べて引張強度が若干高い。ただし非晶性であることから弾性率に方向性の違いは見られなかった。

ここで PC コア・ラミシートの引張弾性率から PC 製 TECCELL とした場合の曲げ剛性を想定していたが、想定はコア・ラミ共に 2100MPa で行った為、目標値より若干低い曲げ剛性値となると想定される。

2-2-2 衝撃特性

衝撃試験は岐阜プラスチック工業株式会社内既設の株式会社マイズ試験機製デュポン落錘衝撃試験機にて、突端、受けSR=6.35mmの治具を用い、耐衝撃性を測定した。

試験は50mm×50mmの試験片に対し、ある一定の高さから錘を落下させたときに、試験片が破壊する高さから衝撃強度を求める方法で行った。結果は表2-2に記した。

表2-2 PCシートの衝撃特性一覧

PCシート種類 (PC単層(コア用) or PC/PMMA(ラミ用))	シート厚 (mm)	デュポン衝撃強度(J)	
		PC側上面	PMMA側上面
301-10 (PC単層)	0.3	3.50	—
200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.4/0.1	1.42	1.23
200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.2/0.1	1.03	0.86
301-10/HT50Y	0.4/0.1	0.86	0.86
301-10/GR1000H24	0.4/0.1	0.60	0.86
200-3/GR00100:70% HT50Y:30%	0.4/0.1	1.72	1.23

衝撃強度は2層シートであり材質が違うことから、PC・PMMAの両側で測定した。溶着層であるPMMAは固く脆い素材であり、PC側より低い値となった。

なおPC単体のシートと比較して2層シートの衝撃強度は全体的に低くなっている。原因として、PMMA側に破断が入って低下する為であり、PC側のシート表面に亀裂は生じておらず、衝撃強度はPMMA側の物性に左右されている。

またPMMA成分の違いとして、ゴム成分の少ないシートは、ゴム成分の多いシートと比較して低い値となっている。ゴム成分の有無により、衝撃強度への影響は大きい。

2-2-3 高温特性&高温時のシート特性

シートの高温特性は、岐阜県産業技術センターが、同センター既設の計測設備をもって測定し、当該特性のパラメーターを得ることとする。このパラメーターが定量的に把握出来れば、ラミシート貼付における最適温度を把握出来る。

なおこの測定方法は、平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業(補正予算)にて研究開発を行ったドロ잉試験にて評価した。評価方法は、専用の治具にシートを挟み込み、治具を株式会社アズワン製の乾燥機(ONW-450)中に設置して温度を上昇させ、各温度におけるシートのドロダウンド量を定規で測定する方法で行った。

測定条件として、PC ラミシートは 2 層であることから、上面 PC 下面 PMMA とした。また試験は支点間距離 75mm で行い、試験片サイズは幅 10mm×長さ 120mm、試験方向は MD とした。それぞれの PC シートの試験結果の一例を図 2-2 に記す。

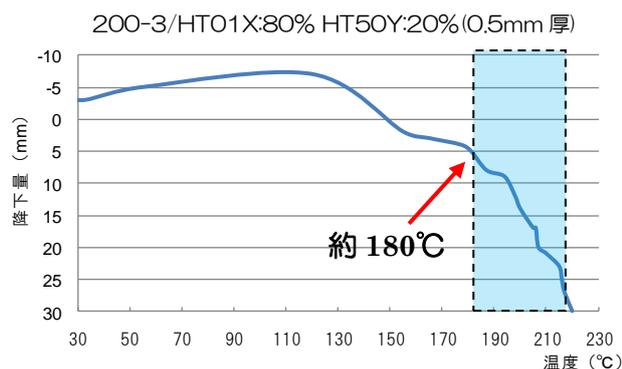


図 2-2 各種 PC ラミシートのドロウダウン試験結果

今回検討した各種 PC ラミシートのドロウダウン試験を行い、どのシートも約 180°C 辺りからドロウダウンし、210~220°C 付近で完全に伸びきった。よって PC 製 TECCELL の最適成形温度は、180~220°C の間にあると想定することが出来た。

なお、平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業で行った研究内容で、PC シート単層の物の溶着温度は 220~230°C であった。これにより、目標としたコア材より低い溶着温度でラミ材の溶着層が溶融することが確認でき、当初の目的の通り低温で溶着出来ることが想定出来た。これにより外観品質の向上及び成形性の向上が期待出来る。

2-2-4 融点・ガラス転移温度・結晶化温度特性

融点・ガラス転移温度・結晶化温度特性は、岐阜プラスチック工業株式会社内既設の株式会社リガク製の DSC (Thermo Plus8230) にて測定した。原理は、基準試料を基準に試験片をある一定の温度まで上昇させた場合の、基準試料との熱量差から推定する物である。

測定は、PC 及び PMMA は非晶性樹脂であり、試験片が溶融する際に吸収（もしくは発熱）反応する温度を測定し、ガラス転移温度を求めた。試験結果一例を図 2-3 に記した。

表 2-3 から、一部 PMMA 成分が未検出の物もあったが、PC 成分と PMMA 成分及び PMMA 成分に配合したゴム成分の違いによって、ガラス転移温度に大きな差は無かった。

表 2-3 各 PC シートのガラス転移温度一覧

PC 単層 or PC/PMMA シート種類	シート厚(mm) PC/PMMA	ガラス転移温度(°C)	
		PC 成分	PMMA 成分
301-10	PC 単層 0.3	149.1	—
200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.4/0.1	153.9	97.8
200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.2/0.1	153.6	未検出
301-10/HT50Y	0.4/0.1	150.7	95.9
301-10/GR1000H24	0.4/0.1	150.9	102.0
200-3/GR00100:70% HT50Y:30%	0.4/0.1	154.4	99.8

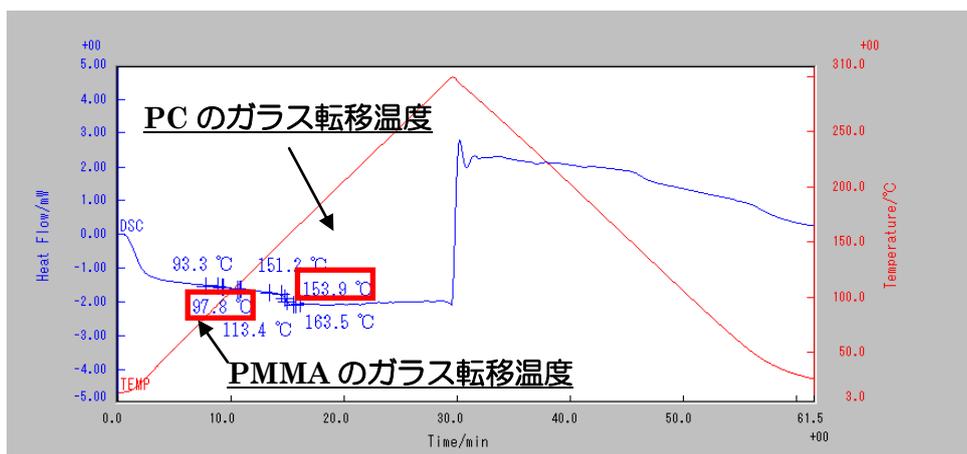


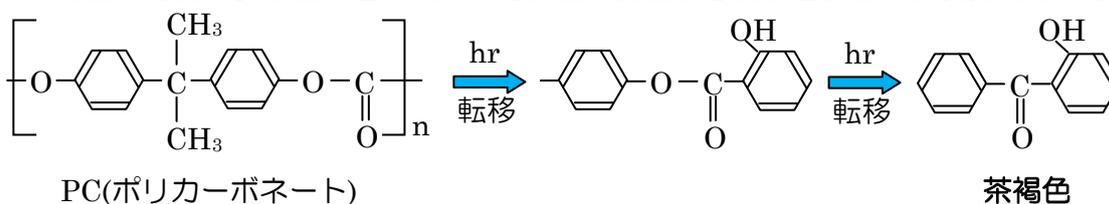
図 2-3 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%(0.5mm 厚)シートの DSC 曲線

2-2-5 耐候特性

耐候性試験は溶着層を HT01X で造った物をベースとし、耐候剤 2 種類に添加量を変えたサンプルにて、キセノン型サンシャインウェザーメーターを使用して行った。

耐候性の評価は表面の黄色度 (YI) と、耐候試験を行った後のシートに対して引張強度や引張伸度の測定を行うことで評価した。

ここでポリカーボネート樹脂は、紫外線を受けると化学変化を起こし、下図のような構造を持つ転移生成物となる。この生成物は茶褐色の物質で、紫外線から可視光までの広い吸収域を持っている為、一旦生成物が表面に形成されるとそれ以上の基材の劣化は抑制される。この茶褐色の物質により透視性が失われた黄色に変色する現象を表面の黄変劣化と呼ぶ。



黄色度は無色または白色から色相が黄色向に離れる度合で、プラスの量として表示される。よってマイナスで表示される時は色相が青方向へ移行することを示す。黄色度の測定方法は測白色差計を用いて、三刺激値 X,Y,Z を求め、(1)式を用いて計算する。ここで黄色度は光、熱などの環境に曝露されたプラスチックの劣化の評価に用いられ、初期の黄色度と曝露後の黄色度の差によって表示される。黄色度は(2)式によって計算する。

$$YI = \frac{100(1.28X - 1.06Z)}{Y} \dots (1) \quad \Delta YI = YI - YI_0 \dots (2)$$

ΔYI : 黄色度 YI: 曝露後の黄色度 YI₀: 試験用試料または試験片の初期黄色度

これらの測定方法から得られた結果を表 2-4 に記した。なお耐候剤未添加の物に大きな違いが無かった為、耐候剤は代表例として HT01X に添加して耐候性を評価した。

表 2-4 耐候性添加シートの耐候性評価

PC/PMMA ラミシート (0.3mm 厚)	耐候剤 A	耐候剤 B	試験前 (0h)			耐候性評価後 (100h)			耐候性評価後 (1000h)	
			引張強度 (MPa)	引張伸度 (%)	Y _{l0}	引張強度 (MPa)	引張伸度 (%)	Y _l	Y _l	ΔY _l
301-10/ HT01X	未添加		57.8	27.3	0.8	58.5	10.6	4.0	9.4	8.6
	2%	—	55.6	33.8	1.3	56.0	28.7	3.0	6.8	5.5
	10%	—	58.4	36.9	2.4	58.8	16.7	2.9	5.5	3.1
	—	2%	57.1	64.4	1.4	57.2	15.8	3.8	6.0	4.6
	—	5%	59.4	43.2	1.9	60.3	26.8	2.7	5.1	3.2

耐候剤を入れることで黄色度の初期値は多少増すが、継時変化では黄色度はかなり緩和される。また添加量を増すことで更に効果が高まる。なお耐候性が高い耐候剤 B は、A に比べて少ない添加量で高い耐候性を示した。ただし機能性の面で、引張強度は耐候剤を添加していくことで若干硬く（引張強度が高く）なり、それに伴って引張伸度が下がる。しかし PC 製 TECCELL の機能性を左右する物性は引張強度であり大きな差は見られない。よって耐候剤の添加によって製品としての機能性に大きな低下などは見られないと判断出来る。

2-3 異素材シート&接着剤の選定

2-3-1 異素材シートについて

異素材の選定にあたり、モデル解析結果や想定物性値などから、軽量・高剛性化に最も効果があると思われるアルミシートを、補完研究から異素材の代表例として選定した。

2-3-2 表面処理について

プラスチック樹脂は難接着素材であり、異素材貼付には接着剤の選定と合わせてハニカムサンドイッチパネル表面に表面処理を施す必要がある。表面処理は平成 22 年度補完研究にて、コロナ放電処理で接着出来る可能性があることを確認した。その中で、コロナ放電処理を行っても外観上違いは無い為、効果は表面の濡れ性にて判断し、40dyn 以上であるか確認する（PP での知見により、40dyn 以上であれば表面改質が出来ていると判断出来る為）。

2-3-3 接着性評価について

接着剤の選定にあたり、各接着剤メーカーと協議の上最適と思われる物をピックアップしているが、最終的な判断は 180° 剥離試験した際に 50N/25mm 以上の剥離強度であるかを確認して判断する（PP 品での実績から想定）。

第3章 本論一2 「PC 製 TECCELL 製造技術（ラミシート貼付用）の開発」

3-1 PC 製 TECCELL 製造装置（ラミシート貼付用）の基本的課題

PC 製 TECCELL を作製する為には、平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業にて技術確立したハニカムコア材にラミシートを貼り付ける必要がある。

ただし PC シートは一般的に、高温帯での溶着が必要・熱の吸収・放出が早い・シート剛性が高い、といった特徴が知られている。

したがって、第 2 章の測定結果より得られたパラメーターを踏まえ、岐阜プラスチック工業株式会社が上記特徴を定量的に分析し、以下の通り PC 製 TECCELL 製造装置（ラミシート貼付用）の仕様を検討する。

3-2 PC 製 TECCELL 製造装置（ラミシート貼付用）の開発

岐阜プラスチック工業株式会社内既設の PP 製 TECCELL 製造装置から仕様を検討した。

PC 製 TECCELL 製造装置（ラミシート貼付用）は、加熱部と冷却部に分割して検討し、加熱部は、高温帯での溶着が必要、熱の吸収・放出が早い、という特徴から、ハニカムコア材用の予備加熱コンベアを設置、ラミシートの予備加熱温度を高温仕様、ハニカムコア材とラミシートを重ね合わせる直前に集中加熱出来る構造とし、その際に使用する圧着ロールが温度調節出来る構造とした。

冷却機構は高温加熱での溶着を行う為、冷却効率を上げる必要がある。よってベルト入口部のプリーにも通水出来る構造とした。また製品表面を効率良く冷却する為、冷却板の可動構造をエアシリンダー構造とした。装置図（図 3-1、図 3-2）を記した。

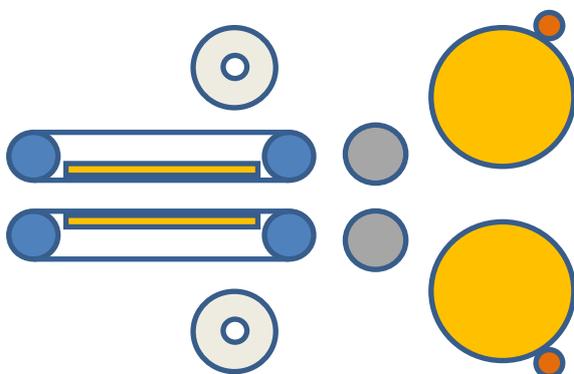


図 3-1 加熱部装置概略図

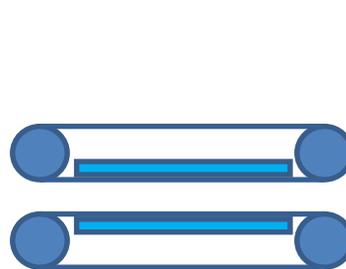


図 3-2 冷却部装置概略図

3-3 ラミシート貼付テスト結果及び考察

3-3-1 加熱温度

3-3-1-1 ハニカムコア材の予備加熱温度

PC は高温帯での溶着が必要となり、予備加熱及び本加熱において高温に加熱出来る構造が求められる。ハニカムコア材の予備加熱は、基材全体を加熱出来る機構としてベルトコンベア（図 3-3）と、基材を瞬時に高温加熱出来る IR ヒーター（図 3-4）を用いた。

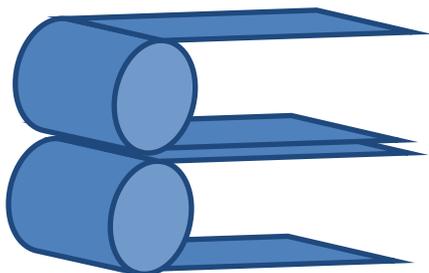


図 3-3 ハニカムコア材予備加熱用のテフロンベルトコンベア

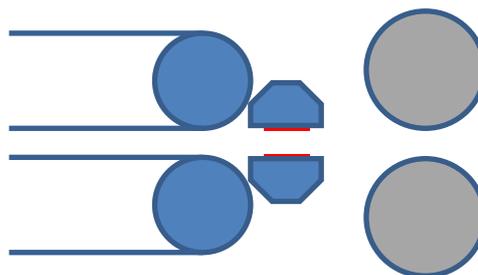


図 3-4 ハニカムコア材予備加熱用の IR ヒーター

ここで、実際に 3m/min で熱溶着した際のハニカムコア材の加熱温度を表 3-1 に記した。

表 3-1 ハニカムコア材の加熱温度条件

	加熱コンベア(予備加熱)			IR ヒーター(予備加熱)	
	入口(°C)	中央(°C)	出口(°C)	出力(%)	電気容量(W)
上	110	110	110	80	3200
下	123	123	123	95	3800

ハニカムコア材の予備加熱を行う理由は、溶着させる温度帯が高温であり、短時間の加熱だけで最適な温度まで上げることが出来ない為である。よって、予備加熱時に基材全体をムラなく加熱し、本加熱を短時間で行える温度まで昇温させることが目的である。

表 3-1 より、予備加熱温度は基材の上面に比べて下面を高めを設定する必要がある。この理由は、①加熱した熱気が上昇する為、②ハニカムコア材の下側の樹脂量が上側に比べて多い為、という 2 点である。

①の影響は当然だが、②の項目の内容は、ハニカムコア材を造る真空成形の工程で、上面より下面の方が溶融させなければならない樹脂量が多くなり、加熱温度を上げる必要がある。

3-3-1-2 ラミシートの予備加熱温度

ラミシートはPCとPMMAの2層とし、PMMA側を溶かしてハニカムコア材表面と溶着させる。これによりラミシートの破断を防ぐなど成形性の向上、製品表面の意匠性の向上などを目的とした。

ラミシートもハニカムコア材の加熱機構と同様に、予備加熱と本加熱という加熱機構を設けた。なおハニカムコア材の加熱機構とは異なり、加熱ロールをラミシートの予備加熱機構として用いた(図3-5)。

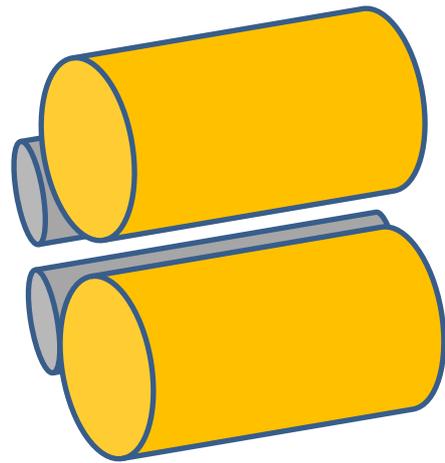


図3-5 ラミシート予備加熱用の加熱ロール

ハニカムコア材と同様に 3m/min で成形を行った場合の加熱条件は、ラミシートの予備加熱温度を上側 177℃、下側 189℃とすることで成形可能であった。この際にハニカムコア材同様に、下側の温度を上側の温度より上げる必要がある理由は、単純に熱気が上側に逃げている為であると想定される。

また加熱しているPMMA側の最適加熱温度はPCに比べて低い為、過剰に加熱するとPC側に変化は無くともPMMA樹脂が白化する。加熱状況は図3-6、図3-7に記した。

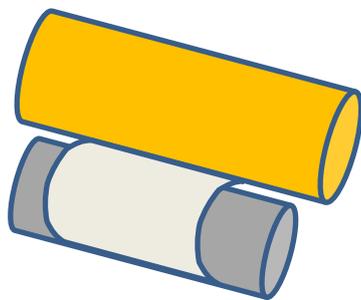


図3-6 ラミシート最適予備加熱状態

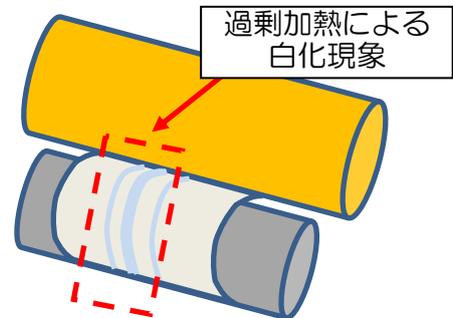


図3-7 ラミシート過剰予備加熱状態

3-3-1-3 ハニカムコア材&ラミシートの本加熱温度

ハニカムコア材とラミシートの本加熱としてIRヒーターを使用した。またこの加熱は、瞬間的に溶着直前のポイントを集中的に加熱することを目的としており、ハニカムコア材とラミシートの本加熱は同一のヒーターで行った(図3-8)。このヒーターを使用した加熱条件は表3-2に記した。

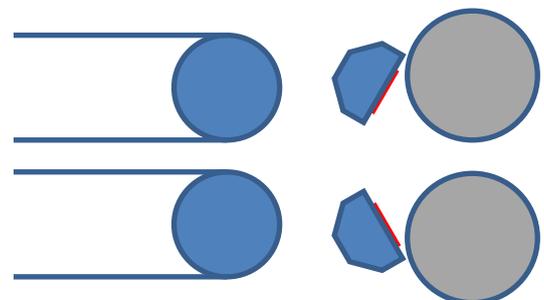


図3-8 ハニカムコア材とラミシートの本加熱用IRヒーター

本加熱温度は上下の温度差を付けていないが、これは瞬間的に一部分を加熱する構造としており、ハニカムコア材とラミシートの加熱部と IR ヒーターが非常に近い位置で、ほぼ熱量の損失が無い為である。ただし予備加熱より出力自体を上げる必要がある。

表 3-2 本加熱温度条件

	IR ヒーター	
	出力(%)	電気容量(W)
上	95	7600
下	95	7600

次に、ハニカムコア材の本加熱状態について記す（図 3-9～図 3-11）。理想はコア材全体がムラなく加熱され、表面のみ熔融した状態（図 3-10）。これ以下の温度（図 3-9）やこれ以上の温度（図 3-11）ではハニカムコア材が破断してしまうなどの問題が起こる。

よって加熱は過剰でも不足でも良品を取ることは出来ない。更にこの最適加熱状態は非常に狭い温度範囲でのみ実現出来る。

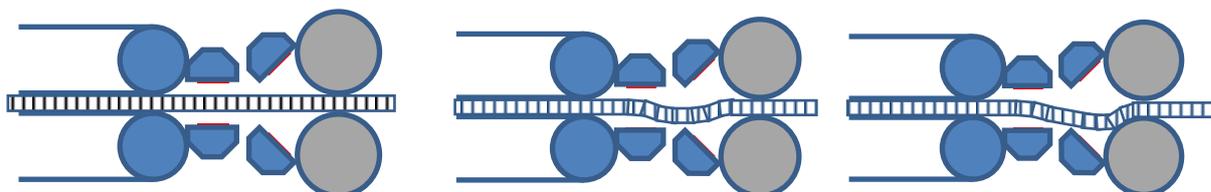


図 3-9 加熱不足状態

図 3-10 最適加熱状態

図 3-11 過剰加熱状態

上記結果から、本加熱温度は高温度を短時間で集中的に与える必要がある。これは PC が吸熱や放熱が早い為起こる現象であり、量産時には成形速度を高速にすることや、熱量の損失を防ぐために装置全体を覆うなどの工夫が必要になると推察される。

3-3-2 圧着ロール

溶着面の剥離強度や表面の平滑性を高める為には、ハニカムコア材とラミシートを加熱後に重ね合わせる工程で圧着ロールを用いる必要がある。このロールで最終的な製品厚さを決定する。特にラミシートを予備加熱した状態で圧着ロールに触れながら重ね合わせる為、温度が低いとラミシート温度が低下して溶着不良になる。その為、圧着ロールには温調機能が必要である。よって、クリアランス・温度の 2 点について成形条件を検討する必要がある。

3-3-2-1 圧着ロールのクリアランス

PP 製 TECCELL の知見からハニカムコア材+ラミシート 2 枚分（上下面）から 0.2mm 程度低いクリアランスに調整しておけば問題無く成形出来る為、この値を基準とした。

実際に成形を行った際の圧着ロールクリアランスを表 3-3 に記した。

表 3-3 圧着ロールクリアランスによる成形条件

圧着ロールクリアランス(mm)	溶着状態	製品厚さ(mm)
11.8	良好	12.7
12.6	良好	12.9
13.2	溶着不良	13.2

ハニカムコア材は約 12.0mm、ラミシートは 0.5mm×上下 2 枚となり、基材厚さの総計は約 13.0mm である。ここから実際には溶融させるシート溶着面厚さやハニカムコア材表面の樹脂量などを考慮すると、実際には 12.8mm 程度が理想厚さとなっている。

当初圧着ロールで製品厚さを設定する構想であったが、ハニカムコア材自体の剛性が高く、思ったほど圧着ロールクリアランスに合わせた製品厚さとならない。また、基材の総厚より若干でもクリアランスが広いと、圧着後も貼り合わせが全く出来ていない状態となった。

3-3-2-2 圧着ロール温度

圧着ロールに温度を掛けないと、ハニカムコア材とラミシートを圧着する前にシート温度が低下し硬化する。その為、圧着ロールの加熱温度は成形条件の中で重要な項目となる。

加熱温度を 80℃以下にすると、ハニカムコア材は溶融してもラミシート溶着面が溶けない。よって高温に設定することが望ましい。ただし PC のガラス転移温度以上の高温では PC 側まで溶融し、成形中のシート破断や外観不良などを引き起こす。よってガラス転移温度以下である 150℃程度が圧着ロールで加熱出来る最高温度であると想定出来る。

なお今回の結果から、PC より更に高加熱温度が必要なエンジニアリングプラスチックなどの場合、加熱用のヒーター類だけではなく、圧着ロールも高温に出来る機構とする必要がある。ただし更にシビアな温度コントロールが要求される可能性もある為、加熱ロールは電気制御にて温度管理出来る物を使用することが、最も望ましいのではないかと判断する。

3-3-3 シートの張力調整機構

PP での実績から、シートの蛇行・加熱ムラ・破断などの問題無くラミシートを安定的に供給する為には一定の張力を掛ける必要がある。張力調整機構は当初、低溶融側の PMMA のみ溶融させる想定をしており、シートの剛性をある程度保った状態でハニカムコア材と溶

着させることを目的としていた為に設置していた。

しかし PC の吸熱・放熱が早いという特性上、PMMA 側のみに熱量を与える状況を作り出すことは非常に難しいことが判明した。よって単純にシートロールの張力調整を行っても、シート自体が軟化している為にシワを防げない。以上から張力を掛けてシワを無くすのではなく、送り出す機構を設ける必要がある。

これは平成 21 年度の戦略的基盤技術高度化支援事業にて研究した内容の中で、真空成形の工程で使用したピンチロールを用いて良品を得ることが出来ている。

よってラミシートの加熱構造の一部としてもピンチロールの使用を検討した（図 3-12）。

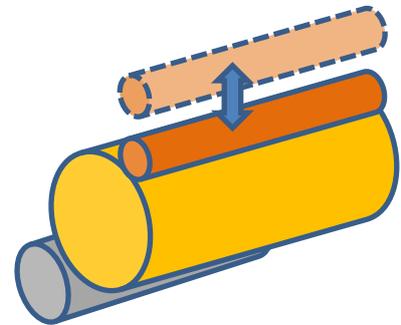


図 3-12 ピンチロール使用図

ピンチロールを使用することでシート全面が加熱ロールに当たる。その為、シートの端部と中央部での温度差が無くなる。未使用の場合には温度差が出来るので、収縮差に繋がることでシワが発生してしまう。

また加熱がシート全面に均一に掛かる為、未使用に比べて設定温度を低く出来る。これは成形速度を上げて生産性を向上出来ることに繋がる。

PC 製 TECCELL の製品図を図 3-13 に記した。

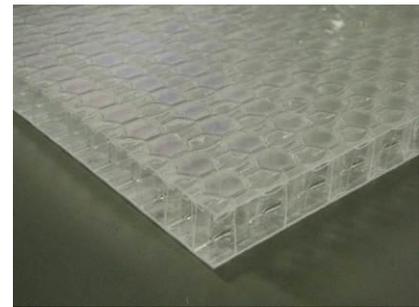


図 3-13 PC 製 TECCELL 製品図

3-4 PC 製 TECCELL+AL 品の試作評価

2-3にて、軽量・高剛性化に最も効果があると想定し選定した AL シートと PC 製 TECCELL の貼り合わせ品を造るが、PC は難接着素材であり表面処理を行って表面の濡れ性を上げることが必要になることは前述の通りである。その際に行う表面処理方法として、岐阜プラスチック工業株式会社内既設のコロナ放電処理機を用いた。

なお表面処理を行った表面の濡れ性値を評価した為、これを表 3-4 に記した。また表面処理を行った側と未処理側での違いで、未処理側は 40dyn でも試薬が馴染んでいないが、処理側は 48dyn の物でも基材と馴染んでいるのが確認出来た。

表 3-4 各試験片の表面処理結果一覧

コアシート種類 PC ラミシート種類 PC/PMMA	ラミシート厚 (mm) PC/PMMA	濡れ性 (dyn)	
		表面処理前	表面処理後
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.4/0.1	40 以下	48 以上
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.2/0.1	40 以下	48 以上
301-10 301-10/HT50Y	0.4/0.1	40 以下	48 以上
301-10 301-10/GR1000H24	0.4/0.1	40 以下	48 以上
301-10 200-3/GR00100:70% HT50Y:30%	0.4/0.1	40 以下	48 以上
目標値			40 以上

基材表面に対してコロナ表面処理を行った後、接着剤を塗布する。接着剤の塗布は岐阜プラスチック工業株式会社内既設の糊付機を使用した。また接着剤は、平成 22 年度補完研究にて選定した、2 液シリコン系の物を使用した。

接着剤塗布後、上下面に AL シートを貼り合わせた。ただしこの際、単純に貼り合わせるだけでは気泡が入ってしまい、接着部にムラが発生することから強度にバラつきが出る。

よってこの気泡が入らない様にする為に、脱気ロールを用いて PC 製 TECCELL と AL シートの貼り合わせを行った。

脱気後、接着剤を硬化させる為に一日程度プレス圧力を掛け続ける必要がある。その為、貼り合わせした基材全面に圧力を掛けることが出来るプレス機を使用した。

これら上記の装置を使用して実際に貼り合わせした PC 製 TECCELL+AL 品を図 3-14 に記した。

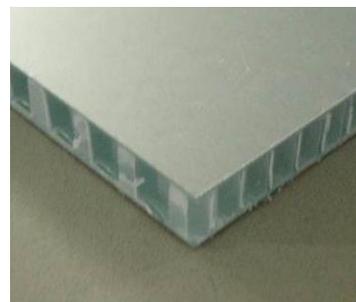


図 3-14 PC 製 TECCELL+AL 貼り合わせ品

第4章 本論—3 「PC 製 TECCELL 成形体の物性評価」

4-1 PC 製 TECCELL 及び PC 製 TECCELL+AL 成形体の物性評価方法

岐阜プラスチック工業株式会社は、平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業と本研究の第 3 章にて、PC 製 TECCELL 及び PC 製 TECCELL+AL 成形体を作製した。

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業の研究内容はハニカムコア材の成形までであり、PC 製 TECCELL 成形体としては、接着剤を用いてラミシートを簡易的に貼り合わせた物で物性評価を行っていたが、本研究にて本来の成形体を得られた為、基礎物性を測定する。

4-1-1 密度測定・製品寸法測定・曲げ試験方法

成形体に対して、密度測定・製品寸法測定・曲げ試験を行った。密度は製品寸法測定及び試験片の重量測定を行って算出した。また曲げ試験は、岐阜プラスチック工業株式会社既設の AUTOGRAPH AG-IS 20kN を使用して行った。測定は、4 点曲げ試験で、試験速度 20mm/min、支点間距離 300mm、荷重スパン 50mm で評価した。

4-1-2 圧縮試験測定方法

圧縮試験も万能試験機を使用し、圧縮試験用の治具を用いて、試験速度 1mm/min で評価した。なお圧縮試験はラミシートの影響が無い為、PC 製 TECCELL のみの評価とした。

4-1-3 衝撃試験測定方法

衝撃試験は、『2-2-2 衝撃特性』の項目で使用した衝撃試験機を用いて、シートの衝撃強度と同様に評価した。ただし評価用の試験片サイズは 60mm×60mm とした。

4-1-4 剥離試験測定方法

剥離試験は岐阜プラスチック工業株式会社既設の万能試験機を使用して行った。試験は 20mm/min の引張速度で 180° 剥離試験にて評価した。

4-1-5 熱変形温度測定・加熱時の寸法変化測定方法

成形体の熱変形温度測定・加熱時の寸法変化測定は、岐阜県産業技術センター既設の計測設備を用いて熱特性を評価した。熱変形温度は株式会社東洋精機製作所製の熱変形温度測定装置である HDT 試験装置 3M-2 型 (図 4-1) を用いて荷重たわみ温度を測定した。

試験片は、株式会社マルトー製の冷却機能付き切断機 MC-120 によって 10mm×80mm×試験片厚みに切断して作製した（図 4-2）。測定条件として、試験開始温度は 25℃、昇温速度は 120℃/h、曲げ応力は 1.80MPa、たわみ量は 0.34mm とした。



図 4-1 熱変形温度測定装置



図 4-2 冷却機能付き切断機

また寸法変化測定は図 4-2 の冷却機能付き切断機によって、10mm×10mm×試験片厚みに切り出した PC 製 TECCELL を用い、ティー・エイ・インスツルメント・ジャパン株式会社製の熱機械測定装置 Q400 にて、加熱している最中の試験片の寸法変化を測定した。

試験は膨張プローブを用い、試験荷重は 1N とした。試験温度は室温～200℃、昇温速度は 5℃/min に設定した。

4-2 PC 製 TECCELL 及び PC 製 TECCELL+AL 成形体の物性評価結果

4-2-1 密度測定・製品寸法測定・曲げ試験結果

まずは、密度測定と寸法測定結果を表 4-1 に記す。

表 4-1 PC 製 TECCELL & AL 貼り合わせ品の各ラミシートにおける試験片の製品厚さ及び密度

コアシート種類 PC ラミシート種類 PC/PMMA	ラミシート厚 (mm) PC/PMMA	AL(0.1mm) 貼り合わせ	厚さ (mm)	見かけ 密度 (g/cm ³)
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.4/0.1	無	12.7	0.20
		有	12.7	0.27
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.2/0.1	無	12.2	0.18
		有	12.5	0.24
301-10 301-10/HT50Y	0.4/0.1	無	12.7	0.20
		有	13.1	0.26
301-10 301-10/GR1000H24	0.4/0.1	無	12.6	0.21
		有	12.8	0.27
301-10 200-3/GR00100:70% HT50Y:30%	0.4/0.1	無	12.3	0.21
		有	12.7	0.27
目標値		無	12.8	0.23
		有	13.0	0.27

上記結果から、元々想定していた製品厚さと密度は、ほぼ想定通りとなった。

続いて曲げ試験結果について表 4-2 に記した。なお、曲げ剛性は試験結果により得られた曲げ弾性率を基に、曲げ剛性値に換算することで算出した。換算は下記の式を利用して算出した。

$$\text{曲げ剛性} = E \times \frac{BH^3}{12}$$

E:曲げ弾性率 B:試験片の幅(今回は 75mm) H:製品厚み(mm)

表 4-2 曲げ剛性・比剛性・曲げ強度測定結果

コアシート種類 PC ラミシート種類 PC/PMMA	ラミシート厚 (mm)	AL(0.1mm) 貼り合わせ	曲げ剛性 (Nm ² /75mm)	比剛性	曲げ強度 (Nm/75mm)
	PC/PMMA				
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.4/0.1	無	10.1	49.7	27.7
		有	52.5	194.4	38.9
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.2/0.1	無	7.2	40.9	15.2
		有	49.0	204.1	23.4
301-10 301-10/HT50Y	0.4/0.1	無	10.5	52.4	28.3
		有	57.6	218.0	42.5
301-10 301-10/GR1000H24	0.4/0.1	無	10.6	51.6	29.8
		有	53.5	201.1	35.9
301-10 200-3/GR00100:70% HT50Y:30%	0.4/0.1	無	9.8	47.3	26.2
		有	56.0	208.8	38.6
目標値		無	12.1	52.6	
		有	70.4	260.1	

アルミを貼り合わせていない物は、曲げ剛性・比剛性共に若干想定値より低く、アルミを貼り合わせた物は、想定物性値より低い値になった。これは前述の通り、元々想定したシート引張弾性率を高く見積もっていた為である。実際の試験にて得られた結果を基に曲げ剛性を想定し直すと、PC 製 TECCELL は 10.1Nm²/75mm、PC 製 TECCELL +AL は 68.6 Nm²/75mm となる。更に比剛性は、PC 製 TECCELL は 43.9、PC 製 TECCELL +AL は 228.7 となる。この想定値であれば今回測定した結果とほぼ同等であり、成形体としての物性はシート物性に起因することが分かった。

なお今回選定したシートは成形性などへの影響を考慮する必要はあるが、引張弾性率を更に上げることは可能であり、選定するシート物性から PC 製 TECCELL 成形体の基本物性を推定出来ることが確認出来た。

4-2-2 圧縮試験結果

各試験片の圧縮強度を表 4-3 に記す。

表 4-3 各試験片の圧縮強度

サンプル種類		ラミシート厚(mm)	圧縮強度 (MPa)
コアシート	ラミシート	PC/PMMA	
301-10	200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.4/0.1	1.45
301-10	200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.2/0.1	1.29
301-10	301-10/HT50Y	0.4/0.1	1.23
301-10	301-10/GR1000H24	0.4/0.1	1.31
301-10	200-3/GROO100:70% HT50Y:30%	0.4/0.1	1.30

圧縮強度は基本的にハニカムコア材の強度に依存する為、各種ラミシート素材の違いでも大きな強度差は無いことが今までの研究結果から確認出来ている。また、そもそもハニカム構造は圧縮強度に優れる構造体であり、岐阜プラスチック工業株式会社にて製造している PP 製 TECCELL の圧縮強度は 1.45MPa であることから、素材による影響というよりは構造やシート厚による影響が大きいということが確認出来た。

4-2-3 衝撃試験結果

各試験片の衝撃試験結果を表 4-4 に記し、衝撃試験後の試験片例を図 4-3 に記した。

表 4-4 各試験片の衝撃強度結果

コアシート種類 ラミシート種類	PC PC/PMMA	ラミシート厚(mm)	AL(0.1mm) 貼り合わせ	衝撃強度 (J)
		PC/PMMA		
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%		0.4/0.1	無	4.91 以上
			有	1.39
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%		0.2/0.1	無	4.91 以上
			有	0.97
301-10 301-10/HT50Y		0.4/0.1	無	1.96
			有	1.22
301-10 301-10/GR1000H24		0.4/0.1	無	2.21
			有	1.37
301-10 200-3/GROO100:70% HT50Y:30%		0.4/0.1	無	4.91 以上
			有	1.39



図 4-3 衝撃試験後の試験片写真

PC 製 TECCELL は、ゴム成分が多ければ衝撃強度の測定限界である 4.91J 以上だが、ゴム成分が少ない物は製品表面に亀裂が入った。ただしゴム成分が少なくても PC 側の衝撃強度は更に高く、亀裂が入っている物も PC 側の衝撃強度はもっと高いと思われる。しかし PMMA 側の衝撃強度が低い為、弱い部分に亀裂が入る。実製品は一部でも弱い部分があればそこから強度低下する。ゴム分量は、衝撃強度に大きく影響することが確認出来た。

なおアルミ貼り合わせ品は、貼り合わせていない物より強度が低くなった。これは PC 製 TECCELL の問題ではなく、先にアルミ側に亀裂が入る為である。アルミを厚くすれば強度アップに繋がるが重量は重くなる。最適な組み合わせは今後検討する必要がある。

4-2-4 剥離試験結果

3-4にて作製した PC 製 TECCELL+AL 貼り合わせ品について、PC 製 TECCELL とアルミシートの剥離試験を行った。試験結果の一例として図 4-4 にコアシート 301-10 ラミシート 200-3/HT01X:80% HT50Y:20% (シート厚 0.5mm) の物を記した。

また実際に剥離試験を行った、剥離強度試験結果を表 4-5 に記した。

表 4-5 PC 製 TECCELL+AL 品の剥離強度試験結果

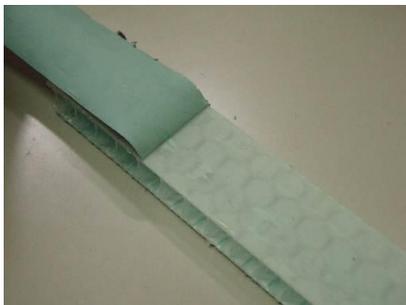


図 4-4 剥離試験結果写真 (凝集破壊)

コアシート種類 PC ラミシート種類 PC/PMMA	ラミシート厚 (mm)	剥離強度 (N/25mm)
	PC/PMMA	
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.4/0.1	66.4
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.2/0.1	46.8
301-10 301-10/HT50Y	0.4/0.1	54.4
301-10 301-10/GR1000H24	0.4/0.1	67.2
301-10 200-3/GR00100:70% HT50Y:30%	0.4/0.1	67.6
目標値		50 以上

剥離状態は濡れ性の向上により全ての試験片が図 4-4 の様に凝集破壊となった。また、当初の目標値 (180° 剥離強度:50N/25mm) だが、今回評価した各試験片で基本的に目標値に達した。ただしラミシート厚 0.3mm の物が若干想定値を下回ったが、原因はシート厚さが薄い為に製品表面に凹凸が多く、接着剤の塗布状態が 0.5mm 厚の物よりバラつきがあったと思われる。ただ剥離強度は 0.5mm 厚での強度を想定しており目標値は達成出来た。

また今後、貼り合わせ条件等の検討により、ラミシートの薄い物でも目標とした剥離強度の値をクリアする方法は色々と想定出来る。

4-2-5 熱変形温度測定・加熱時の寸法変化結果

各試験片の荷重たわみ温度試験結果の一例を図 4-5、結果一覧表を表 4-6 に記した。

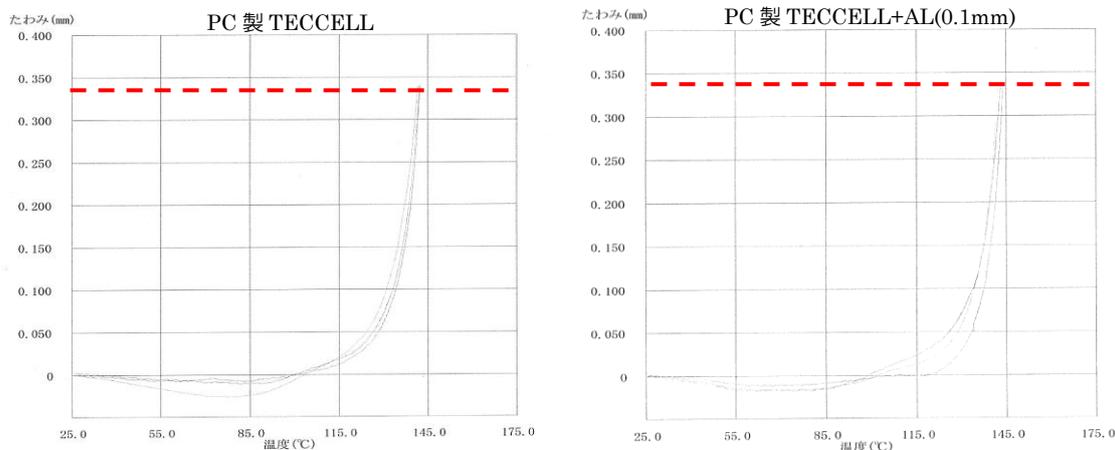


図 4-5 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%(0.5mm 厚)ラミシート品の荷重たわみ温度測定結果

表 4-6 各試験片の荷重たわみ温度結果一覧

コアシート種類 PC ラミシート種類 PC/PMMA	ラミシート厚 (mm)	AL(0.1mm) 貼り合わせ	荷重たわみ温度 (°C)
	PC/PMMA		
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.4/0.1	無	141.9
		有	143.2
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.2/0.1	無	139.7
		有	141.5
301-10 301-10/HT50Y	0.4/0.1	無	140.5
		有	140.0
301-10 301-10/GR1000H24	0.4/0.1	無	139.7
		有	140.6
301-10 200-3/GR00100:70% HT50Y:30%	0.4/0.1	無	140.8
		有	143.7

PMMA 素材が違いでも大きな差は見られず、AL 貼り合わせ品も若干高い温度を示す物もある程度で、両者にほぼ差は無い。曲げ試験結果と違い、熱特性は AL 貼り合わせにより大きく変化しないことが確認出来た。ただし平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業にて測定した、PP 製 TECCELL の荷重たわみ温度は 58.8°C であり、PP 製から PC 製に変えることで熱特性が約 100°C 向上した。

PC 製 TECCELL で商品展開を検討している自動車用部材は、一般的に -20°C~100°C 程度の温度適応性が要求される。今回の結果から高温特性は問題無いことが確認出来た。今後は加えて低温特性を把握し、使用上問題無いことを確認する予定である。

続いて加熱時の寸法変化結果で、測定結果の一例を図 4-6 に、一覧表を表 4-7 に記した。

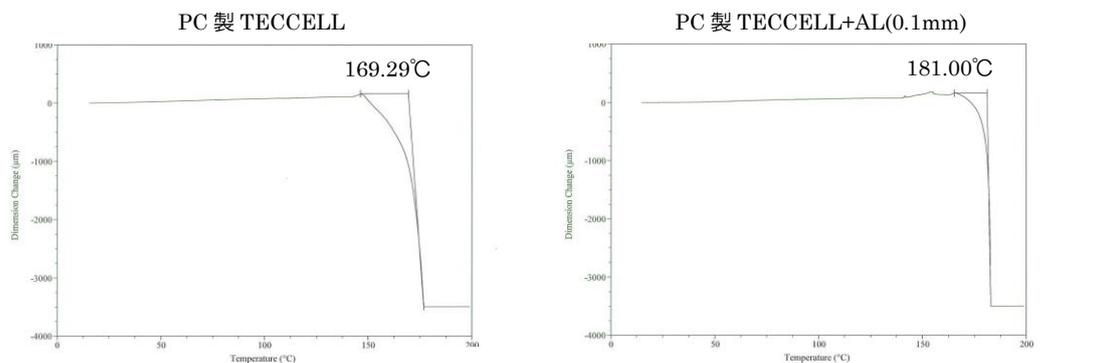


図 4-6 PC 製 TECCELL の TMA 測定結果

表 4-7 各試験片の TMA 測定温度結果一覧

コアシート種類 PC ラミシート種類 PC/PMMA	ラミシート厚(mm)	AL (0.1mm) 貼り合わせ	TMA 測定温度 (°C)
	PC/PMMA		
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.4/0.1	無	169.29
		有	181.00
301-10 200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	0.2/0.1	無	170.49
		有	180.04
301-10 301-10/HT50Y	0.4/0.1	無	177.32
		有	171.44
301-10 301-10/GR1000H24	0.4/0.1	無	171.92
		有	178.60
301-10 200-3/GR00100:70% HT50Y:30%	0.4/0.1	無	175.03
		有	179.33

TMA 測定結果で、急激な寸法変化が起こる前に膨張する物があった。これはハニカム構造内部の空気が加熱により膨張する為と推察する。試験片により異なるのは、試験片サイズが 10mm² であり、独立したセルが含まれる物とそうでない物がある為である。実製品は独立したセルが含まれる為、膨張による製品の変形を抑える方法は、今後の検討課題とする。

4-2-6 燃焼試験結果

PC 製 TECCELL を自動車用部材に検討する場合、自動車内装用品の安全基準である FMVSS-302 法で遅燃以上の難燃性を示す必要がある。判定基準は下記の 4 種類となる。

- (1) 不燃：炎が標線（試験片の端より 1.5 インチ）以下で自己消火した場合
- (2) 難燃：炎が標線を超えて、60 秒以下かつ 2 インチ以下で自己消火した場合
- (3) 遅燃：(1)、(2) 以外で、燃焼速度が 4 インチ/分以下の場合
- (4) 可燃：上記(1)～(3) 以外の場合全て

表 4-8 PC 製 TECCELL の FMVSS-302 法の試験結果

サンプル		製品方向	
コア素材 PC	ラミ素材 PC/PMMA	MD	TD
301-10	200-3/HT01X:80% HT50Y:20%	標線に未達 自己消火	標線に未達 自己消火
判定		不燃	不燃

なお、測定結果について表 4-8 に記したが不燃判定であり使用上問題ないと考えられる。

第5章 本論—4 「PC 製 TECCELL の形状加工技術の開発」

5-1 PC 製 TECCELL の形状加工技術の基本的課題

PC 製 TECCELL について、目標としている自動車用部材などでの使用する場合、単純な板物形状では使用用途が限定される為、より多くの自動車用部材への展開を考えた場合には、PP 製 TECCELL で検討してきたように製品形状に合わせて形状加工を行う必要がある。

5-2 PC 製 TECCELL の形状加工テスト方法

形状加工は PP 製 TECCELL で検討した様に、両面真空引きの真空成形機（岐阜プラスチック工業株式会社内既設の株式会社神代鉄工所製 RX-500D）で行った。なお真空成形用金型は、岐阜プラスチック工業株式会社で元々保有している形状加工の基礎検討を行う金型（コーナーRの限界を見極める物・球状加工の可能性を見極める半球型の物）を用いた。

5-3 PC 製 TECCELL の形状加工テスト結果

形状加工を行う場合、両面から真空引きを行う成形方法は一般的ではない。しかし岐阜プラスチック工業株式会社は元々PP 製 TECCELL にて形状加工を技術確立しており、これらの検討内容を活かして形状加工テストを行った。

なお上下両側から真空引きするのは、中空体では単純加熱による成形では形状がうまく転写しないことと、基材自体が潰れてしまう問題がある為である。これは PP 製の物であれば上下両面から真空引きする方法で解決出来ており、まずは同法で PC 製 TECCELL の形状加工性について可能性を見極める。実際のテスト結果を表 5-1、表 5-2 に記した。なおその際に成形した成形品を図 5-4、図 5-5 に記した。

表 5-1 基礎検討型の形状加工性評価一覧

	天面	コーナーR 側面コーナーR				MD								TD									
						天面R				フランジR				側面	天面R				フランジR			側面	
		5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30		5	10	20	30	5	10	20		30
PC	○	×	×	×	×	×	×	○	○	×	×	○	○	○	×	×	○	○	×	×	×	×	○
PP	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○

表 5-2 半球型の形状加工性評価一覧

	頂点	MD		TD	
		フランジR	側面R	フランジR	側面R
PC	○	○	○	×	×

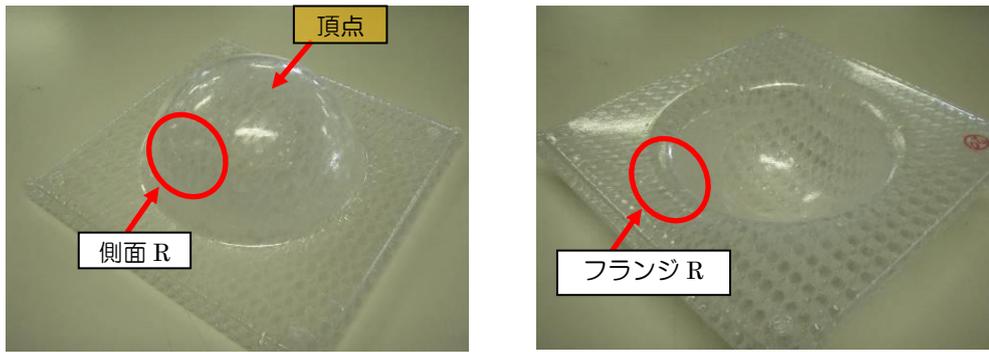


図 5-4 基礎検討型の製品写真及び形状加工部名称

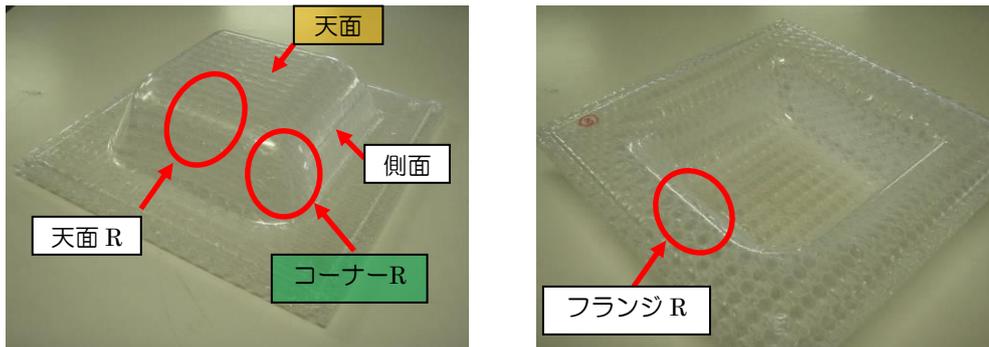


図 5-5 半球型の製品写真及び形状加工部名称

成形予備加熱温度は、PP 製の物より約 50℃上げる必要がある。これは樹脂特性として軟化温度が違う為である。なお製品表面温度は PP 製より約 30~50℃高い温度で行った。

形状加工時の現象は、PC シートを真空成形する時のように急激にドローダウンすることは無かった。その為、PP 製 TECCELL を形状加工する場合と同じ様に、PC 製 TECCELL が徐々に軟化してドローダウンし、製品全体が十分に軟化した状態で形状加工を行った。

形状加工性は、PC 製の物は PP 製の物と比較すると低下する。原因は樹脂の収縮率の違い、シート剛性の違い、熱の吸収・放出速度の違い、などが挙げられる。収縮率の違いやシート剛性は基本的にベース材料に依存するが、添加剤などで多少変化出来る。今後収縮率が低く剛性の低い素材で形状加工を行えば成形性が改善される可能性もある。

形状加工限界は、基礎検討型より天面と側面の加工は可能。ただしコーナー R や側面コーナー R は加工が難しく R30 でも加工不可。これ以上のどこまで緩い曲面であれば可能かについては再評価が必要。また PC 製 TECCELL の方向性について、MD は天面 R・フランジ R は R20 以上であれば加工可能だが、TD は伸びにくいので天面 R は R20 以上で加工可能だが、フランジ R は R30 でも加工不可。このフランジ R についてどこまで緩い曲面で加工可能かは再評価が必要である。

また現段階は試作レベルであり、今後、ハニカム構造の潰れ・ボードのシワの出方・製品物性・表面の意匠性などを総合的に判断し、形状加工の加工限界を導き出す予定である。

PC は熱の吸収と放出が早い為、PC 製 TECCELL を加熱してからすぐに形状加工を行う必要があるが、今回使用した真空成形機でこのような形状加工を行うことは難しい。

その為これらを改善する方法として、真空成形機全体を覆って熱の出入りを極力抑えることで成形性を上げる方法が考えられる。ただしこの方法は装置自体を改造することが必要になる為、今後改造出来るタイミングで評価予定とする。

また PC 素材を形状加工し易い物に変える方法もあり、材料の検討についても今後材料メーカーと打ち合わせを行い、最適と思われるシート素材で形状加工性を評価していく予定である。

なお、そもそも製品厚さを薄くすることで形状加工し易くなることは、PP 製 TECCELL の形状加工テストから判明している。よって用途にはよるが、製品厚み自体が薄い TECCELL で形状加工を行えば、より複雑な形状加工を実現出来る可能性もある。ただしこれには真空成形用の新しい金型が必要になる為、今後の検討課題とする。

第6章 全体総括

本研究での研究開発成果は以下の通りである。

①素材開発課題への対応について

イ) PC ラミシート素材の選定

平成 22 年度の補完研究より、2 層ラミシートの溶着層に PMMA を使用し、尚且つゴム成分を添加することが望ましいことを確認した。本研究ではゴム成分の種類や添加量について、引張試験・衝撃試験を行い、ゴム成分の添加量が少ないと PMMA 本来の硬く脆い性質を改善出来ないことを確認した。

加えて、高温特性・高温時のシート特性・ガラス転移温度測定を測定した結果、PMMA 成分の違いやゴム成分の添加量により、温度への影響はほとんど無いことを確認した。

更に耐候剤の添加品と未添加品による違いについて評価し、添加によって製品の黄色化をかなり緩和出来ることを確認した。また合わせて物性への影響について評価したが、引張伸度の低下はあるものの、PC 製 TECCELL とした場合に、製品の機能性に影響する引張弾性率に全く変化が無い為、耐候剤を添加しても製品としての機能性に大きな影響を及ぼさないことを確認した。

ロ) 異素材シート&接着剤の選定

平成 22 年度補完研究より、モデル解析結果や想定物性値などから異素材シートの代表例としてアルミを選定したが、PC 製 TECCELL は難接着素材であり、アルミとの貼り合わせにはコロナ放電処理を行う必要があることが分かった。

合わせて接着剤について、平成 22 年度の補完研究より 2 液シリコンタイプが最適であると判断した。

②PC 製 TECCELL 製造技術（ラミシート貼付用）の開発

平成 22 年度補完研究にて構想した PC 製 TECCELL 製造装置（ラミシート貼付用）を用い、PC 製 TECCELL の製造技術を確立した。

なお成形条件として、ハニカムコア材・ラミシート共に予備加熱機構と本加熱機構を設ける必要があり、予備加熱でそれぞれの全体を暖め、本加熱で集中的に溶着部を加熱する方法が必要であった。

加熱温度はハニカムコア材・ラミシート共に、過剰に掛けてしまうと破断に繋がり、加熱不足だとまったく溶着しないことが確認出来た。

また成形時の必要項目として、ハニカムコア材とラミシートを重ね合わせて溶着する際に用いる圧着ロールは温度調節出来る物とする必要があり、温度は 80~150℃の間で意匠面に影響が無い範囲でなるべく高い温度とすることが望ましいと判断した。

ラミシートの張力調整機構として、PC/PMMA の 2 層シートとしても熱伝導率の高さから平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業で検討した様な、ピンチロールを使用する必要がある。ピンチロールを使用することでラミシート全面に均一な状態で温度が掛けられることになり、加熱温度ムラやシワの発生を抑えることが出来る。

表面処理技術、接着剤の選定、接着剤塗布技術などを踏まえ、PC 製 TECCELL+AL 品を作製することに成功した。また、表面処理効果を確認する為に濡れ性を測定し、当初の目標値 40dyn を上回る 48dyn 以上であることを確認した。

③成形体の物性評価

製品物性評価は、PC 製 TECCELL の成形体で測定する予定であった、密度・製品厚み・曲げ剛性・比剛性・熱変形温度の他に、曲げ強度・平面圧縮強度・衝撃強度・燃焼特性を測定した。また PC 製 TECCELL+AL 品も測定する予定であった、密度・製品厚み・曲げ剛性・比剛性・熱変形温度・剥離強度の他に、曲げ強度・衝撃強度を測定した。

物性評価結果として密度・製品厚みは、PC 製 TECCELL 及び PC 製 TECCELL+AL 品は概ね目標の値となったが、曲げ剛性・比剛性は若干想定より低い値となった。原因として、元々製品物性（今回の目標値）に大きく影響するシート物性である曲げ弾性率を 2100MPa で想定していたが、今回のシートは 1800MPa であった。その為再度 1800MPa で想定すると今回の試験結果とほぼ同等の値であることが分かった。シート物性に製品物性が左右され、シート物性を把握出来れば製品物性を想定出来ることが分かった。

PC 製 TECCELL+AL 品の剥離強度は想定していた 50N/25mm 以上の値となることを確認した。

その他加えて測定した物性について、圧縮強度は PP 製の物とほぼ同値。原因としてハニカム構造体が元々圧縮強度に優れている構造体であることと、シートの厚みが薄い為、樹脂による特性の違いがあまり見られないことによる影響であると判断した。衝撃強度はゴム成分が少ない物は表面に亀裂が入ることがあるが、ゴム成分の量を調整することで製品表面に

凹みは出来るが亀裂が入らない物が出来ることを確認した。ただしアルミを貼り合わせた製品は製品表面の亀裂より先にアルミに亀裂が入ってしまう。アルミの厚さを厚くしていけばこれらの現象が抑制出来ると思われるが、どの程度の厚みと組み合わせることが最適かは今後検討が必要になる。熱特性は荷重たわみ温度と TMA の測定を行い、種類の違いによらず荷重たわみ温度は 140℃程度、TMA 測定温度は 175℃程度となった。ただし平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業と平成 22 年度の補完研究で行った測定結果から、PP 製の物と比較すると約 70℃高い温度となり、本研究にて作製した PC 製 TECCELL は高い熱特性を有することが確認出来た。燃焼性は自動車内装用品基準である FMVSS-302 法で不燃認定となり、自動車用内装材として使用しても問題無いと判断出来た。

④形状加工技術への対応（サンプル評価）

両面真空引きの真空成形機で基礎検討型と半球型を用いて形状加工評価を行った。結果として PC 製 TECCELL は PP 製 TECCELL と比較して真空成形性は悪いが、製品形状によっては十分加工可能であることを確認した。

形状加工限界は、基礎検討型から天面と側面の加工は可能であるが、コーナー R や側面 R は加工が難しく、今回用いた最も R が緩い R30 でも加工が出来なかったが、天面 R・フランジ R は方向性があり、MD は天面 R・フランジ R は R20 以上であれば加工可能だが、TD は天面 R であれば R20 以上で加工可能で、フランジ R は R30 でも加工不可。なおこれらの加工限界は基礎検討型での結果であり、今後、ハニカム構造の潰れ・ボードのシワの出方・製品物性・表面の意匠性などを総合的に判断し、実際の製品などで形状加工の加工限界を導き出す予定である。

これらの加工限界を広げる方法として、装置全体を覆って熱の移動を極力抑えた形で成形する方法があるが、装置の改造を伴うので今後タイミングを見て評価する。

また PC 素材を形状加工し易い物に変える方法もあり、材料の検討についても今後材料メーカーとともに調査していく予定である。

合わせて製品厚さが現状より薄い製品用の真空成形用金型を新規に検討し、より複雑な形状加工の可能性を評価する。